

Universidade Federal de Viçosa
Campus Florestal

ÍTALO AUGUSTO GOMES ROCHA
MARIANA MARQUES ALTIVO

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DO MANANCIAL DE ABASTECIMENTO - LAGOA
DO JAMIL – NA GERAÇÃO DE LODO DE ETA DA UFV/CAF**

Florestal
Minas Gerais 2016

ÍTALO AUGUSTO GOMES ROCHA
MARIANA MARQUES ALTIVO

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DO MANANCIAL DE ABASTECIMENTO - LAGOA
DO JAMIL – NA GERAÇÃO DE LODO DE ETA DA UFV/CAF**

Trabalho apresentado à disciplina
TGA 393 – Projeto Final de Curso,
do Curso Superior de Tecnologia
em Gestão Ambiental, da
Universidade Federal de Viçosa,
Campus Florestal, como parte das
exigências para conclusão do
curso.

Orientador: Thiago Bressani
Ribeiro

Florestal
Minas Gerais 2016

ÍTALO AUGUSTO GOMES ROCHA

MARIANA MARQUES ALTIVO

**INFLUÊNCIA DA TURBIDEZ DO MANANCIAL DE ABASTECIMENTO - LAGOA
DO JAMIL – NA GERAÇÃO DE LODO DE ETA DA UFV/CAF**

Trabalho apresentado à disciplina
TGA 393 – Projeto Final de Curso,
do Curso Superior de Tecnologia
em Gestão Ambiental, da
Universidade Federal de Viçosa,
Campus Florestal, como parte das
exigências para conclusão do
curso.

Florestal, 21 de junho de 2016

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Thiago Bressani Ribeiro (Orientador)

Prof. Hygor Aristides Victor Rossoni

Prof. Donizete dos Reis Pereira

AGRADECIMENTOS

Ítalo Augusto Gomes Rocha

À minha família, em especial, meus pais Vânia e Varonil pelo amor incondicional, e minha namorada Natália pelo amor, apoio, companheirismo, dedicação e incentivo que tem conferido a mim e estado presente sempre em todos os momentos desta minha jornada.

Ao Prof. Thiago Bressani Ribeiro pela incrível orientação e aprendizado.

Aos integrantes da banca avaliadora Hygor Rossoni e Donizete Pereira, pela disponibilidade e atenção.

Aos técnicos Emerson e Alexandre pelo suporte e materiais para a realização dos ensaios.

À Mariana por ter me suportado durante todo o curso.

Sem vocês nada disso seria possível.

A chama interna despertou. Salve 218!

Mariana Marques Altivo

À minha família, especialmente a meus pais Izabel e Marcos, pelo incentivo, confiança e amor.

Ao professor Thiago Bressani pela orientação, paciência, compromisso e empatia.

Aos integrantes da banca avaliadora, Hygor Rossoni e Donizete Pereira, pela disponibilidade e atenção.

Aos técnicos Alexandre e Emerson, pelo suporte e materiais para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus amigos Brenda, Ítalo e Laís por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus colegas de trabalho do Almoxarifado, Olímpio e Welington pela amizade, carinho e pelos cafezinhos da tarde. Obrigada!

RESUMO

Devido à crescente demanda por água potável na Universidade Federal de Viçosa – *Campus Florestal* faz-se necessário expandir os meios de captação que hoje se limitam à captação subterrânea. Para isso, foi instalada uma estação de tratamento para tratar a água do manancial superficial Lagoa do Jamil visando torná-la adequada ao consumo humano e obedecendo aos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde. Este trabalho objetivou caracterizar a turbidez do corpo hídrico, bem como realizar ensaios de jarros para simular as etapas na estação de tratamento de água (ETA) e determinar a dosagem ideal do coagulante a ser ministrada para obter o melhor desempenho do processo. Adicionalmente, foi estimada a geração de lodo na etapa de decantação na ETA, considerando o monitoramento realizado em período de seca e chuva. Verificaram-se baixos valores de turbidez e pouca influência da precipitação neste parâmetro, indicando um bom estado de preservação da microbacia. Os resultados dos ensaios de jarros mostraram que o desempenho do coagulante foi bastante satisfatório uma vez que foram obtidas remoções de turbidez de 94,2% para o período chuvoso e de 84% para o de estiagem. Observou-se que a maior quantidade de lodo formada será nos meses chuvosos, devido a maior turbidez das águas e, conseqüentemente, maior consumo de coagulante. Conclui-se que para a Lagoa do Jamil a turbidez da água não guarda uma relação direta com a precipitação diária, todavia observou-se uma relação entre os índices de precipitação mensal e o comportamento da turbidez no ambiente aquático.

Palavras-Chave: turbidez, geração de lodo, unidade de tratamento de resíduos, tratamento de água.

ABSTRACT

Due to the increasing demand for drinking water in the Federal University of Viçosa - Forestal *Campus* it is necessary to expand the means of abstraction which today is limited to groundwater abstraction. For this, we installed a treatment plant to treat water from the surface source Lagoa do Jamil to make it suitable for human consumption and obeying the potability standards set by Decree 2,914 / 11 of the Ministry of Health. This study aimed to characterize the turbidity the water body as well as perform jars tests to simulate the steps in the water treatment plant (WTP) and determine the optimal dosage of coagulant to be given for the best performance of the process. In addition, the sludge generation in the decantation step in WTP was estimated considering the monitoring carried out in times of drought and rain. There were low turbidity values and little influence of precipitation in this parameter, indicating a good state of preservation of the watershed. The results of the jar tests showed that the coagulant performance was quite satisfactory since turbidity removal was observed of 94.2% for the rainy and 84% for the dry season. It was observed that the largest amount of sludge will be formed in the rainy season, due to the higher turbidity of the water and therefore increased consumption of coagulant. It is concluded that for Lagoa do Jamil turbidity does not keep a direct relationship with the daily precipitation, however there was a relationship between monthly rainfall indices and the turbidity of the behavior in the aquatic environment.

Keywords: turbidity, sludge generation, waste treatment plant, water treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processos envolvidos no tratamento dos resíduos líquidos e sólidos gerados em ETAs convencionais. Fonte: RIBEIRO (2007)	29
Figura 2 - Rede de drenagem da microbacia hidrográfica do Córrego Areia	31
Figura 3 - Vista aérea da localização do Manancial Superficial Lagoa do Jamil no <i>Campus</i> da UFV em Florestal MG.	32
Figura 4 - a) Turbidímetro; e b) pHmetro	34
Figura 5 - a) Vista frontal da casa de bombas do futuro ponto de captação; e b) Vista do ponto de captação para montante	35
Figura 6 - Precipitação mensal x Normal climatológica	39
Figura 7 - Relação entre o índice pluviométrico e a turbidez do manancial de abastecimento	40
Figura 8 - Precipitação mensal x Turbidez	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Condições dos ensaios de Jarros	35
Tabela 2 - Relação entre o valor da turbidez inicial com a dosagem aconselhável para o ensaio. Fonte: SARSAN (2014)	36
Tabela 3 - Valores determinados para cada Jarro em cada um dos dois ensaios	36
Tabela 4 - Período chuvoso com turbidez inicial de 11 NTU	42
Tabela 5 - Período de estiagem com turbidez inicial de 5 NTU	43
Tabela 6 - Estimativa da produção de sólidos	43
Tabela 7 – Massa de Sólidos	44
Tabela 8 - Massa de Lodo	44
Tabela 9 - Volume de Lodo	44
Tabela 10 - Massa de lodo após leito de secagem	45
Tabela 11 - Volume de lodo retirado do leito de secagem	45
Tabela 12 - Duração das valas de aterramento do lodo de ETA	46

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVO GERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1. TRATAMENTO DA ÁGUA	13
3.2. SELEÇÃO DO MANANCIAL E QUALIDADE DA ÁGUA	13
3.3. ETAPAS DO TRATAMENTO CONVENCIONAL	14
3.3.1. Coagulação	15
3.3.1.1. Coagulante	15
3.3.1.2. Sulfato de Alumínio	15
3.3.2. Floculação	16
3.3.3. Sedimentação ou decantação	17
3.3.4. Filtração	17
3.3.5. Desinfecção, fluoretação e estabilização	18
3.4. CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	18
3.4.1. Sazonalidade e uso e ocupação do solo	18
3.4.1.1. Turbidez	19
3.4.2. Cor	20
3.4.3. pH	21
3.4.4. Alcalinidade	22
3.5. GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO TRATAMENTO	22
3.5.1. Teste de jarros	22
3.5.2. Lodo	23
3.5.3. Tratamento e disposição final dos resíduos	25
3.5.3.1. Recuperação e reutilização do coagulante do lodo	26
3.5.3.2. Água da lavagem de filtro	27
3.5.3.3. Lodo de decantadores	27
3.5.3.4. Disposição final do lodo	29
4. METODOLOGIA	31
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ETA	32
4.3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO	33

4.3.1. Análises de turbidez e pH	33
4.3.2. Testes de jarros	35
4.3.3. Estimativa de lodo	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1. CARACTERIZAÇÃO DA TURBIDEZ.....	39
5.2. ENSAIO DE JARROS.....	41
5.3. ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE LODO.....	43
5.3.1. Volume de lodo produzido	43
5.3.2. Volume de lodo desidratado	44
6. CONCLUSÃO.....	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O aumento do número de alunos e de funcionários da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Florestal (UFV/CAF) nos últimos anos conduziu à crescente demanda por água potável. Atualmente, a fonte de abastecimento supre as necessidades da universidade, porém, com o estimado aumento da população acadêmica, o modo de captação que hoje é realizado por mananciais subterrâneos, não atenderá à futura demanda. Assim, é inevitável a busca por outras fontes de abastecimento.

O manancial superficial da UFV/CAF que será destinado ao abastecimento denomina-se Lagoa do Jamil. Trata-se de um curso d'água lântico que está inserido na microbacia do Córrego Areia, afluente à margem esquerda do Ribeirão das Lajes, que, por sua vez, conflui com o Rio Paraopeba. De um modo geral, as características de uso e ocupação do solo de uma bacia interferem na definição do tratamento mais adequado para a transformação de água bruta em água potável, a qual deve atender aos padrões de potabilidade da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

Devido ao considerável nível de preservação em que se encontra a Lagoa do Jamil, e por estar inserida em uma bacia hidrográfica sem lançamento de efluentes industriais e esgotos domésticos, o tratamento consistirá principalmente na remoção da turbidez.

A turbidez é uma característica de extrema importância no tratamento de água, pois é o seu nível que define a quantidade de coagulante a ser utilizada para a formação de flocos no processo convencional de uma estação de tratamento de água (ETA). Esta estimativa é feita através do Teste de Jarros. Sendo assim, quanto mais baixa for a turbidez, menor será o gasto com produtos químicos para a transformação da água bruta em água potável e tanto menor será a produção de lodo nos decantadores. Isto reduz o custo da produção de água tratada e viabiliza ainda mais o tratamento.

Para se obter uma turbidez baixa, é preciso que a bacia hidrográfica esteja preservada e o manancial superficial onde será feita a captação da água bruta esteja protegido pela mata ciliar, evitando que o escoamento superficial provoque erosão e carregue sedimentos para o corpo d'água, provocando o aumento da turbidez e assoreamento.

Em uma ETA convencional, a água captada do manancial passa pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Durante este processo de tratamento é gerado um resíduo denominado lodo, que deve ter sua destinação adequada para que não retorne ao corpo d'água nem cause impacto ao meio ambiente.

Considerando a importância de avaliar a qualidade da água bruta antes de ser submetida ao tratamento para o consumo humano, o presente trabalho tem como objetivo realizar a caracterização da turbidez da água bruta do manancial superficial, a qual guarda relação com a quantidade de lodo a ser gerada na ETA. Este lodo será tratado em Unidades de Tratamento de Resíduos (UTR), que, por sua vez, podem representar um grande impacto ambiental caso não sejam bem gerenciados.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar a variação sazonal da turbidez da água bruta do manancial de captação para abastecimento denominado Lagoa do Jamil.

2.2. Objetivos específicos

- 1) Estimar a melhor concentração de coagulante a ser adicionado na água bruta da Lagoa do Jamil para a remoção da turbidez.
- 2) Estimar a quantidade de lodo a ser gerada nos decantadores da estação de tratamento de água, nos períodos de seca e chuva;
- 3) Estimar a capacidade de recebimento de resíduos (lodo) nas valas de aterramento previstas no projeto da UTR.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Tratamento da água

Para Ribeiro (2007), visando tornar a água adequada ao consumo humano e obedecendo aos critérios de potabilidade, exige-se que a mesma não contenha patogênicos ou substâncias tóxicas ou que possam tornar-se nocivas à saúde pelo uso continuado do ponto de vista da salubridade. Segundo a Organização Mundial da Saúde, cerca de 80% de todas as doenças que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade, dentre as mais comuns: febre tifóide, febres paratífóides, disenteria bacilar, disenteria amebiana, cólera, hepatite infecciosa e giardiose (RICHTER e AZEVEDO NETO, 2007).

Do ponto de vista estético, as exigências se referem a aspectos físicos e organolépticos que tornem a água repugnante ao consumidor, induzindo-o a usar águas de melhor aparência, porém, sem controle de salubridade.

Por isso, tradicionalmente o projeto de ETAs convencionais para a adequação ao abastecimento humano tem considerado como principais objetivos a otimização dos processos de remoção de material particulado e cor aparente da água na ETA (SANTOS, 2011).

Para a adequação da água ao consumo humano, a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde define os padrões e estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade nos casos em que esta é distribuída coletivamente por meio de abastecimento de água. Dentre os parâmetros da água tratada a *Escherichia coli* deve ser ausente em 100 mL, a turbidez deve ser no máximo 0,5 uT (unidades de turbidez); o pH (potencial hidrogeniônico) entre 6,0 a 9,5 e o valor máximo permitido para cor aparente é 15 uH (unidade Hazen) (BRASIL, 2011).

3.2. Seleção do manancial e qualidade da água

Para Babbitt *et al.* (1976) e Santos (2011) uma das primeiras etapas do projeto de um sistema de abastecimento de água é a seleção do manancial, que deve atender aos critérios de quantidade e qualidade mínimas requeridas quando de sua utilização

para fins de potabilidade. Para isso, é feita uma pesquisa sanitária para fornecer dados sobre os quais se baseia a aceitação ou a rejeição de uma água como uma potencial fonte de suprimento público.

No Brasil, a maior parte das captações realizadas por ETAs são efetuadas em mananciais superficiais, os quais podem expressar grandes variações na qualidade. Os valores médios de turbidez variam ao longo do ano em decorrência dos sólidos carregados para os corpos d'água oriundos da erosão do solo, decaimento da vegetação circundante, micro-organismos e compostos produtores de cor (SANTOS FILHO e RITA, 2002).

Além das condições hidrológicas, a qualidade da água também pode variar em função do ponto de amostragem em um corpo d'água, por depender de muitos fatores, incluindo a proporção do escoamento superficial e água subterrânea, reações dentro do sistema governadas por processos internos, a mistura de águas de tributários de diferentes qualidades e da entrada de poluentes (RODRIGUES, 2008).

Por isso, para Lima e Zakia (1998) a integridade da microbacia, deve envolver práticas de conservação do solo, preservação de matas ciliares, manutenção da biodiversidade e até construção adequada de estradas.

3.3. Etapas do tratamento convencional

Segundo Richter (2009) a definição dos processos mais adequados para o tratamento da água depende da natureza da água bruta e a qualidade que se deseja com o tratamento, além dos custos e benefícios envolvidos no processo.

As impurezas contidas na água estão dispostas em suspensão ou dissolvidas. Segundo Eckenfelder (1989) pelo fato da maioria dessas partículas apresentarem carga negativa em sua superfície, ocorre repulsão entre elas, o que as mantém separadas em suspensão (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1999).

Geralmente as partículas em suspensão apresentam tamanhos que variam entre 10^{-3} e 10 mm. Algumas delas podem ser removidas facilmente por possuírem relativa facilidade em flutuar ou decantar, todavia outras partículas são mais finas podendo até ser identificadas como matéria coloidal, exigindo métodos especiais para efetivar a sua remoção (FRANCO, 2009).

Segundo Di Bernardo (1993) no tratamento convencional, os métodos empregados compreendem as etapas de coagulação, floculação, decantação e

filtração, correção de pH e desinfecção, sendo utilizadas uma série de produtos químicos.

3.3.1. Coagulação

A coagulação é a etapa inicial do processo de tratamento da água empregada para a remoção de material em suspensão e caracterizada pela desestabilização das partículas coloidais, provocada pela adição do coagulante, geralmente sais de alumínio e ferro e/ou polímeros (FRANCO, 2009).

A turbulência responsável pela dispersão e homogeneização do coagulante com a água é acionada pelo movimento de pás ou agitadores mecânicos ou pode acontecer naturalmente durante a entrada da água na Calha Parshall ou Câmara de Mistura Rápida. A coagulação depende da concentração do metal e do pH da mistura.

O segundo processo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre elas e as impurezas presentes na água. Daí em diante há necessidade de agitação lenta, para que ocorram choques entre as impurezas, que se aglomeram formando partículas maiores, denominadas flocos, que mais tarde serão removidos por sedimentação, flotação ou filtração rápida (FRANCO, 2009).

O passo seguinte consiste em adicionar cal à água, se necessário, para otimizar o processo mantendo seu pH em nível adequado.

3.3.1.1. Coagulante

Ribeiro (2007) ressalta que a utilização de um coagulante com maior eficiência, leva a uma diminuição da quantidade necessária do mesmo e, conseqüentemente, um menor volume de lodo gerado.

Para o mesmo autor, para otimizar as dosagens de coagulantes, é necessário conhecer as características da água bruta e fazer ensaios em laboratório (Teste De Jarros), de modo a simular condições ideais de coagulação e floculação, ajustando as dosagens dos produtos de tratamento.

3.3.1.2. Sulfato de Alumínio

Segundo Cornwell e Koppers (1990) de 20% a 92% dos sólidos gerados no processo de tratamento de água são provenientes da adição de produtos químicos, uma vez que estes produtos desencadeiam os processos químicos responsáveis pela remoção dos sólidos/impurezas da água.

Identificado pela fórmula molecular $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ e sendo caracterizado pela cor branca-acinzentada, o sulfato de alumínio como coagulante primário é o coagulante mais utilizado nas ETAs brasileiras devido ao seu baixo custo e eficiência e poucas vezes é usado algum tipo de polímero como auxiliar de floculação (FRANCO, 2009).

Na escolha desses produtos nem sempre a qualidade da água a ser tratada é levada em consideração. Procurando atender aos padrões de qualidade exigidos e a sobrecarga que muitas vezes é inevitável, observa-se que em cada caso haverá um coagulante e/ou um auxiliar de floculação mais adequado. De posse de tal constatação, faz-se necessário que se investigue em laboratório por meio de novas metodologias, os vários produtos que aplicados à água bruta possibilitam obter água tratada com qualidade, em quantidade satisfatória, visando sempre o menor custo (FRANCO, 2009; COSTA, 2010).

Existem uma série de normas nacionais e internacionais que estabelecem critérios para os coagulantes comerciais de sais metálicos. Em todas, é estabelecido que o coagulante não deve conter substâncias em quantidades capazes de causar efeitos deletérios à saúde de quem consome a água que foi tratada adequadamente com o coagulante. As normas da American Water Works Association (AWWA) citam para o sulfato de alumínio, sulfato férrico e cloreto férrico (RIBEIRO, 2007).

3.3.2. Floculação

Ocorre em seguida à coagulação e também pode ser tomada como a segunda etapa desta. A diferença básica entre a coagulação e a floculação, está no tempo em que cada uma ocorre e na diferença do valor adotado no gradiente hidráulico. A floculação exige um sistema de baixa turbulência, onde a velocidade de agitação é consideravelmente menor e o tempo de agitação maior, dessa forma a agregação das partículas coloidais se efetiva, possibilitando o aumento do seu tamanho físico, peso e consistência para formar os flocos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

De acordo com Franco (2009), o gradiente de velocidade usado no floculador, é a diferença de velocidade observada entre duas partículas, de modo que a energia cinética aplicada ao sistema, por meio de um dispositivo mecânico adequado, influencie diretamente nessa diferença. Dessa forma, o gradiente de velocidade é expresso por:

$$G = \sqrt{\frac{2\pi.N.t}{60.V.\mu}}$$

Onde:

G= gradiente de velocidade

μ = viscosidade absoluta do líquido

N = velocidade do rotor em rpm

t = torque

V = volume do reator

3.3.3. Sedimentação ou decantação

A sedimentação, responsável pela clarificação e que ocorre nos decantadores, é o fenômeno físico em que as partículas suspensas formadas durante a floculação se depositam no fundo em meio líquido devido à ação da gravidade, e formando o lodo, removido periodicamente dependendo da operacionalidade da estação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

3.3.4. Filtração

A filtração é a operação que se segue à decantação e consiste na remoção das partículas que não sedimentam e dos microrganismos através de um meio filtrante, que pode conter uma camada simples de areia ou uma camada dupla de areia, carvão e antracito sobre uma camada suporte de pedregulhos (RIBEIRO 2007).

Para Di Bernardo (1993) e Scalize (1997), a filtração é efetiva para remover as partículas que apresentaram certa resistência à decantação. Normalmente, é efetuada com o auxílio da remoção lenta, indicada para águas de baixa turbidez, onde não há a utilização de produtos químicos, aparelhos sofisticados nem operadores altamente

qualificados, além da simplicidade em sua construção e operação; e a rápida, com sistemas compostos por camadas de areia e brita.

A água utilizada na lavagem dos filtros constitui em um dos resíduos gerados no tratamento e geralmente é descartada em cursos d'água, mas também pode ser recuperada, retornando ao início do processo de tratamento (RIBEIRO 2007).

3.3.5. Desinfecção, fluoretação e estabilização

É o processo em que se usa um agente químico ou não químico que tem por objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos presentes na água, incluindo bactérias, protozoários e vírus, além de algas (AZEVEDO NETTO e JOSÉ, 1987).

A água recebe cloro como desinfetante para destruir a ação de microrganismos patogênicos, algas e bactérias.

A fluoretação é a penúltima etapa do tratamento e que corresponde a adição de compostos à base de fluor, em geral na forma de ácido fluorsilícico, fluorsilicato de sódio, fluoreto de sódio ou fluoreto de cálcio, com a finalidade de prevenir cáries dentárias e a decomposição do esmalte dos dentes (HELLER e PADUA, 2007). A adição de flúor a níveis que obtenham a máxima proteção contra a cárie (1,0 a 1,2 mg/L), representa um custo bastante reduzido, por isso essa medida representa uma ótima relação custo benefício (NEWBURN, 1998 *apud* MACEDO, 2007).

Após a fluoretação, tem-se a estabilização química, onde ocorre o controle da corrosão e da incrustação da água nas tubulações, através da aplicação de álcalis que corrigem o pH da água caso tenha sido alterado a níveis significativos com a adição do coagulante na etapa da coagulação. Os produtos que podem ser utilizados nesse processo são: cal virgem e hidratada, carbonato de sódio e hidróxido de sódio (JANUÁRIO, 2005; PÁDUA, 2006; LIBÂNIO, 2010)

3.4. Características da água bruta

3.4.1. Sazonalidade e uso e ocupação do solo

Conforme Richter (2009) a pluviosidade influencia diretamente nos valores de material em suspensão em um corpo hídrico, devido ao carreamento de material

particulado, sendo a turbidez considerada uma medida indireta dos sólidos em suspensão. Segundo Assunção (2013), na região sudeste as estações chuvosa e seca são bem definidas, compreendendo seis meses de chuva entre outubro e março e seis meses de seca entre abril e setembro.

Dentre os fatores climáticos que levam ao aumento da turbidez, destacam-se a intensidade e duração da precipitação: quanto maior a intensidade da chuva, mais rápido o solo atinge a sua capacidade de infiltração, provocando escoamento superficial devido ao excesso da chuva, o que leva à movimentação do sedimento em locais rasos como a zona litorânea, erosão das margens quando houver falta de vegetação ripária, folhagens e galhos de árvores que são levados para dentro do corpo hídrico por ação dos ventos e do escoamento superficial (VILLELA e MATTOS 1975; CETESB, 2009).

Para Tundisi (2003), esses fatores são agravados de acordo com o tipo de atividade empregada no entorno do manancial. Práticas agrícolas, desmatamento e mineração são exemplos de práticas inadequadas que causam impactos negativos, comprovados pelos estudos realizados por Donádio *et al.* (2005), Primavesi *et al.* (2002) e Buzelli e Santino (2013), os quais apontaram valores maiores para turbidez e fertilização das águas em microbacias agrícolas do que em áreas florestadas.

Além dos sólidos não voláteis, detritos orgânicos como algas, bactérias, plâncton, dentre outros, também interferem na turbidez (por biogênese) da água (CESTEB, 2009).

No entanto, também é possível que o processo de evaporação natural contribua para valores maiores de turbidez nos meses em que houver menor volume pluviométrico. Naime e Fagundes (2005) observaram diminuição da turbidez na época de chuvas devido a dispersão do material particulado na massa líquida. Pires *et al.* (2004) e Villela e Mattos (1975) ressaltam que é necessário compreender e avaliar os diferentes usos e ocupação do solo, sendo imprescindível a preservação ou reconstituição da mata ciliar para diminuir e filtrar o escoamento superficial, já que desempenha papel na contenção dos sólidos e nutrientes que podem vir a atingir o corpo d'água com o deflúvio na bacia. Faz-se necessário, então, um planejamento com informações precisas e atualizadas sobre a base de recursos físicos, naturais e econômicos.

3.4.1.1. Turbidez

A turbidez, causada por matéria em suspensão e matéria coloidal na água, é uma medida da resistência à passagem de luz pela água (BABBITT *et al.*, 1976).

Para Porto *et al.* (1991) e Carvalho (1994) os sólidos totais, referem-se à quantidade de material e impurezas presentes na água e originam-se do processo de erosão natural dos solos e do intemperismo das rochas, podendo ser subdivididos em sólidos dissolvidos (não filtráveis) e sólidos em suspensão (filtráveis).

Apesar de ser um fator estético, segundo Rebouças *et al.* (2008) a presença de partículas coloidais responsáveis pela perda da transparência pode, entretanto, estar associada a um maior grau de contaminação por bactérias, vírus, cistos, oocistos de protozoários e helmintos, por exercerem nessas partículas, efeito protetor contra a ação do desinfetante.

Além disso, o excesso de sólidos na água que refletem em uma alta turbidez também pode afetar a comunidade aquática por diminuir as condições de luminosidade interferindo no metabolismo dos organismos autotróficos submersos, dificultando a realização da fotossíntese e conseqüentemente prejudicando também os demais organismos heterotróficos dependentes do oxigênio dissolvido produzido na fotossíntese para respiração (ANA, 2009; CETESB, 2009).

O aumento da turbidez também exige manobras operacionais nas ETAs, pois surge a necessidade de aumentar também a dosagem de coagulantes e auxiliares, o que leva à sobrecarga dos filtros e maior geração de lodo.

3.4.2. Cor

Para Rodrigues (2008), a cor da água, consequência de substâncias dissolvidas, é resultado principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no meio aquático. Por esse motivo, as águas superficiais estão mais sujeitas a terem cor do que as águas subterrâneas. Além disso, pode-se ter cor devido à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, plâncton, macrófitas, despejos industriais e esgotos domésticos.

A cor da água pode ser classificada em cor aparente e verdadeira. A cor verdadeira se refere à determinação das amostras sem turbidez e a aparente refere-se à determinação de amostras de água com turbidez (material coloidal ou em suspensão) (RICHTER, 2009).

A cor aparente elevada indica que a água pode estar poluída e normalmente apresenta valores de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) altos (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Para que uma água tratada seja distribuída à população, a sua cor deve atender as exigências da Portaria do Ministério da Saúde 2.914/11, que estabelece o valor máximo de 15,0uH (FRANCO, 2009).

3.4.3. pH

O potencial Hidrogeniônico (pH) - parâmetro que determina a concentração de íons H⁺ no meio, e intimamente relacionado com a concentração de outras substâncias presentes na água - compõe uma das variáveis de potabilidade da água.

Para a água pura a 25° C o pH é igual a 7 e varia entre 0 e 7, em meios ácidos, e entre 7 e 14 em meios alcalinos (RODRIGUES, 2008).

Para as águas destinadas ao abastecimento público o pH deve apresentar valores entre 6,0 e 9,5, de acordo com a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

O pH é importante porque muitas reações químicas que ocorrem no meio ambiente são intensamente afetadas pelo seu valor. Sistemas biológicos também são bastante sensíveis ao valor de pH, sendo que, usualmente, o meio deve ser neutro apresentando pH entre 6,5 e 8,5 para que os organismos não sofram grandes danos e ocorra o desenvolvimento de diferentes espécies (RODRIGUES, 2008).

As variações do pH em um corpo hídrico são influenciadas pelas taxas de fotossíntese do ecossistema, pois quando esta se eleva, favorecida pelo enriquecimento da água por nitrogênio e fósforo, o pH da água tende a aumentar, ou seja, tornar-se mais alcalino em decorrência da diminuição das concentrações de gás carbônico na água. Por esse motivo, a faixa de pH do meio determina o tipo de fauna e flora que habitam o local (WETZEL, 2001).

Nas águas superficiais o pH é influenciado por diferentes fatores como a geologia da região, onde o corpo de água se insere e por possíveis fontes de poluição (despejo de efluentes domésticos, industrial ou agrícola). O pH das águas pode ser alterado pelo despejo de efluentes domésticos e industriais ou pela lixiviação de rochas e da erosão de áreas agrícolas, onde são utilizados corretivos e fertilizantes (CONTE e LEOPOLDO, 2001).

O controle do pH em todo o processo de tratamento se faz necessário pois determina a concentração de algumas substâncias na água, tendo influência direta no processo de coagulação, além disso seu controle evita a corrosão e entupimento de tubulações caso esteja baixo ou incrustações caso esteja elevado (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991; RICHTER, 2009; LENZI *et al.*, 2009).

3.4.4. Alcalinidade

Segundo Di Bernardo (1993) e Pavanelli (2001), a alcalinidade pode ser definida com a quantificação da capacidade da água de neutralizar os ácidos presentes. A introdução de cal hidratado e carbonato de sódio em situações de baixa alcalinidade devido à adição de ácidos fracos e sais hidrolisados, como o sulfato de alumínio e cloreto férrico, restaura o equilíbrio dos parâmetros fora dos padrões para que a floculação tenha um bom desempenho.

3.5. Geração de resíduos no tratamento

3.5.1. Teste de jarros

Segundo Azevedo Netto e José (1987), pode-se determinar as dosagens ótimas de coagulante para o tratamento através de testes laboratoriais, como o *Jar-test* onde é avaliada a eficiência de remoção dos resíduos gerados.

O teste de jarros é realizado com a utilização de seis reatores providos de agitadores e diferentes técnicas que simulam as condições ideais de coagulação e floculação e possibilitam o controle e otimização do processo pois, para, o custo dos coagulantes e dos demais produtos envolvidos no processo de tratamento são relevantes na escolha do produto a ser empregado. Além disso, sendo o lodo um subproduto da água bruta e dos coagulantes empregados, o *Jar-test* traz a possibilidade de minimizar através de estudos os problemas advindos do manuseio e disposição do lodo (FRANCO, 2009).

Dessa forma, a dosagem ótima de solução será determinada no jarro que produzir o melhor número de flocos e fornecer o melhor sobrenadante (BARRETO, 2010).

3.5.2. Lodo

A maioria das ETAs no Brasil são projetadas com ciclo completo, que inclui as etapas de coagulação, floculação decantação e filtração. Esse sistema gera resíduos (lodo), principalmente nos decantadores e em volumes menos significativos nos filtros (SLATTER, 1997; DENTEL, 1997).

Esses resíduos constituem-se de água e dos sólidos suspensos originalmente contidos na água bruta como metais, sais diversos, plâncton e microrganismos, entre outras substâncias orgânicas e inorgânicas acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados durante o processo de tratamento (LIBÂNIO, 2010; CORDEIRO, 2001).

Para Fontana (2004) os volumes de resíduos produzidos e descartados em uma ETA de ciclo completo se situam entre 1% a 5% do volume de água tratada. Desse volume de resíduos, RIBEIRO (2007), cita que cerca de 92% é formado por produtos químicos empregados no processo de tratamento, enquanto que os 8% restantes são as impurezas removidas da água.

Conforme Cordeiro (1993) na produção de água potável, a característica do lodo é função de diversos fatores, tais como características da água bruta; da quantidade e qualidade dos produtos químicos aplicados (coagulantes, cal, cloro etc.); da eficiência do sistema de tratamento; da forma como o lodo é removido; do tempo que esse material fica retido nos tanques; tipos de produtos químicos utilizados entre outras particularidades.

A grande maioria das ETAs analisadas no Brasil, não dimensiona a quantidade de resíduos gerados, poucas avaliam suas características e destinam adequadamente esses resíduos, o que dificulta e, em muitos casos, pode impossibilitar o uso de indicadores como ferramentas de gestão (ACHON *et al.*, 2013).

Esses resíduos, além de trazerem consigo os inconvenientes resultantes da baixa biodegradabilidade, alta concentração de sólidos totais, agentes patógenos e, eventualmente, metais pesados que podem causar toxicidade à vida aquática, também apresentam características e propriedades diversas e geralmente desconhecidas, dificultando a solução do problema (BARBOSA, 2000; ACHON *et al.*, 2013).

Outro problema, ressaltado por Libânio (2010), diz respeito ao sistema de remoção dos resíduos: a maioria das ETAs brasileiras não dispõe de sistema de

remoção mecanizado, realizando suas descargas por batelada, após um período geralmente superior a 30 dias de operação. Desta maneira, como consequência do tempo de detenção dos sólidos nos decantadores, verifica-se tendência natural de que os lodos sofram um processo de adensamento, apresentando assim maior teor de sólidos.

Por isso, para Achon *et al.* (2013) e Franco (2009) tomando-se como referência o fato de que a remoção de impurezas em um tratamento convencional está intrinsecamente ligada à dosagem de coagulantes, surge então a necessidade de se estudar as suas propriedades a fim de equalizar soluções que minimizem os problemas advindos do manuseio e disposição do mesmo e que podem configurar um entrave orçamentário.

Nessa perspectiva, o planejamento deve focar no melhor custo/benefício, mesmo que o custo do coagulante seja maior, pois tal iniciativa resultará em um benefício global mais efetivo, uma vez que os gastos oriundos da lavagem de filtros, transporte e disposição entre outros, seriam reduzidos, acarretando benefícios financeiros e ambientais (FRANCO, 2009).

Mais importante ainda, a qualidade da água bruta deve ser avaliada antes de submeter o manancial ao tratamento para potabilização, e monitorada periodicamente, já que a baixa qualidade da água bruta a ser tratada implica em maior consumo de produtos químicos e, conseqüentemente, maior produção de resíduos passíveis de tratamento e disposição em local adequado (ACHON *et al.*, 2013).

Já a água proveniente da lavagem dos filtros, que vem recebendo tratamento e destinação adequados, pode passar por um pós-tratamento e assim ser reaproveitada, trazendo inúmeros benefícios, entre eles, econômicos (FRANCO, 2009).

Para o mesmo autor, devido às exigências dos órgãos ambientais e à crescente escassez hídrica, muitas operadoras ligadas ao saneamento já veem tentando se adequar às exigências legais, gerando estudos significativos no sentido de buscar soluções que contemplem a otimização das dosagens de coagulantes e a redução dos sólidos gerados nos decantadores, que constituem a maior parte dos resíduos de uma ETA. Alternativas atrativas por reduzirem gastos dispensados ao transporte e disposição dos resíduos e minimizar os impactos ao meio ambiente.

Há diversas equações empíricas e metodologias na literatura que estimam a produção de sólidos nas ETAs em função da vazão afluyente, da dosagem de

coagulante, dos produtos aplicados no tratamento, e da concentração de sólidos em suspensão na água bruta (LIBÂNIO, 2010).

3.5.3. Tratamento e disposição final dos resíduos

A redução da geração de resíduos, seu reaproveitamento e destinação adequada, constituem um dos maiores desafios a serem enfrentados pelas indústrias modernas, tendo em vista a propagação da consciência ecológica e o surgimento de leis que regulam as atividades com potencial para provocar impactos ambientais (PAIVA e PEREIRA, 2012).

Segundo Barroso e Cordeiro (2001), as ETAs podem ser vistas como mini fábricas de resíduos, com produção de lodo na faixa de 1 a 4 ou 5% do volume total de água tratada. Este quadro apresentado pela indústria brasileira de água sugere a crescente necessidade de gerenciamento adequado desses resíduos, à medida que aumenta a pressão ambiental no setor.

Atualmente, no Brasil, a maioria das ETAs ainda lançam seus resíduos *in natura*, sem a aprovação dos órgãos ambientais. Esta prática constitui-se em crime ambiental, de acordo com o artigo 54 da Lei 9.605/98 devido aos efeitos diretos causados ao corpo receptor, provocando danos à fauna aquática (ACHON *et al.* 2013).

Em levantamento realizado em 175 municípios mineiros pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2009), verificou-se que 87% das ETAs dos municípios mineiros avaliados lançam o lodo em corpos d'água sem tratamento, 6% não informaram, 3% possuem UTRs, 2% lançam na rede pluvial, 1% em estações de tratamento de esgoto (ETE) e 1% no solo (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2009).

O tratamento dos despejos líquidos e a disposição final do lodo resultante são de grande importância, visto sua constituição e o grande volume produzido, devendo-se analisar a matéria sobre dois aspectos:

- a) Tratamento dos despejos para diminuição do volume descartado;
- b) Disposição final sem agredir o meio ambiente (RIBEIRO, 2007).

Dentre os diversos impactos ao meio ambiente e ao homem, estão o aumento da concentração de metais tóxicos e sólidos em suspensão; alteração na turbidez, cor, composição química; assoreamento dos corpos receptores; possibilidade de

contaminação do lençol freático e aspecto visual desagradável (OLINGER *et al.*, 2001; DI BERNARDO e DANTAS, 2005 *apud* MOLINA, 2010; REIS *et al.*, 2007).

Para desenvolvimento de soluções ambientalmente vantajosas e economicamente viáveis para o tratamento dos resíduos das ETAs se faz necessário analisar os diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos desses resíduos provenientes do decantador e da água de lavagem de filtro das ETAs para escolher o melhor método de tratamento e, quando lançados *in natura*, avaliar o grau de poluição e contaminação dos corpos receptores e o conhecimento das legislações aplicáveis a cada tipo de disposição final (TSUTIYA e HIRATA, 2001; SCALIZE, 2003; PEREIRA, 2011).

Segundo Richter (2001), entre os métodos alternativos de disposição de lodos de ETAs pode-se incluir o lançamento na rede coletora, em lagoas com grande tempo de detenção, aplicação no solo, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos. Estes últimos três métodos de disposição exigem a desidratação do lodo em um nível que permita facilitar seu manuseio e reduzir os custos de transporte, por meio da redução do volume e conseqüente aumento de densidade.

3.5.3.1. Recuperação e reutilização do coagulante do lodo

Para Ribeiro (2007) A recuperação do hidróxido de alumínio, produto formado a partir da reação entre sulfato de alumínio e água, possibilita a redução significativa da quantidade de lodo a ser disposto. Demattos *et al.* (2001) observaram uma recuperação de 92% de coagulante em ensaios realizados em laboratórios para o lodo da ETA do Sistema Rio Manso, que abastece a região metropolitana de Belo Horizonte.

Para isso, os lodos produzidos podem ser encaminhados a um tanque de equalização da UTR e depois para o tanque de adensamento preliminar onde o sobrenadante, constituído basicamente de água, retorna para a entrada da água bruta enquanto o lodo é encaminhado para o reator para ser acidulado com ácido sulfúrico. O produto segue para um decantador secundário onde o sulfato de alumínio (sobrenadante) é recuperado e encaminhado para a câmara de mistura rápida e utilizado novamente na coagulação-floculação (RIBEIRO, 2007).

De acordo com SEREC (1987), os principais problemas do processo são a concentração de micropoluentes no coagulante recuperado e o alto custo operacional,

sendo superior ao custo do coagulante novo, por isso a recirculação da água de lavagem de filtros pode ser uma alternativa viável.

3.5.3.2. Água da lavagem de filtro

Cornwell (1987) cita que somente na lavagem de filtro a perda pode representar 2 a 5% do volume de água produzido numa ETA, o maior volume de água gasto em todo processo de tratamento.

Por isso é interessante que se faça sua clarificação, com recirculação do sobrenadante ao início da estação para a diminuição do volume de despejo, que será então tratado e/ou enviado para a disposição final, já que a água de lavagem dos filtros apresenta vazão significativa e baixa concentração de sólidos (0,004 a 0,1%) e ao redor de 5% de todos os sólidos precipitados na coagulação (RIBEIRO, 2007).

A recirculação da água de lavagem dos filtros sem qualquer tratamento, com todos os sólidos que pode conter, não prejudica em nada a eficiência da estação de tratamento; pelo contrário, além de reduzir perdas no processo a praticamente zero, pode trazer ainda alguns benefícios, como redução no consumo de coagulante (SARSAN, 2014).

Para garantir a efetividade do processo não é recomendável o envio dos despejos dos decantadores ao mesmo tanque de recuperação das águas de lavagem dos filtros no caso de decantadores convencionais mecanizados. Como os despejos dos decantadores representam uma parcela muito pequena de água tratada, é preferível não recuperar esta água (RIBEIRO 2007).

3.5.3.3. Lodo de decantadores

A disposição ou aplicação do lodo proveniente de decantadores pode ser feita com os lodos em sua forma líquida ou na forma desidratada (RIBEIRO 2007).

Para efetivar a redução de volume, o lodo deve passar por unidades de tratamento que envolvem os processos de adensamento e desidratação. Após a desidratação, os lodos podem, ainda, ser submetidos a outros processos de redução do conteúdo de água, como secagem térmica ou incineração, reduzindo drasticamente seu volume. Porém, os custos de implantação e os gastos com energia

elétrica destes métodos complementares costumam ser bastante elevados, restringindo sua aplicação (RIBEIRO 2007).

Dentre as diversas alternativas de disposição final de lodos das ETAs destacam-se lagoas de detenção, lançamento na rede coletora, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos (RICHTER, 2001).

A disposição final do lodo em aterro sanitário é considerada segura para a saúde pública e para o meio ambiente. Para que esta disposição ocorra de forma adequada é necessário a desidratação do lodo, deixando-o livre da presença de água e com concentração de sólidos inferior a 25 % (JANUÁRIO e FERREIRA FILHO, 2007; RICHTER, 2001; LIBÂNIO, 2010).

Cada uma dessas linhas geradoras de resíduos (filtros e decantadores) apresenta características distintas em termos de vazão e de teor de sólidos, variando significativamente em função da qualidade da água bruta a ser tratada e do tipo e dosagem dos produtos químicos utilizados no processo de tratamento dessa água. Além disso, deve-se considerar que um mesmo manancial pode apresentar variações sazonais nas características de sua água, o que provoca alterações nas quantidades dos produtos químicos utilizados, influenciando, por sua vez, a quantidade e as características dos resíduos gerados (RIBEIRO, 2007).

A figura 1 apresenta as principais operações envolvidas na ETA e as possibilidades de tratamento dos resíduos líquidos e sólidos.

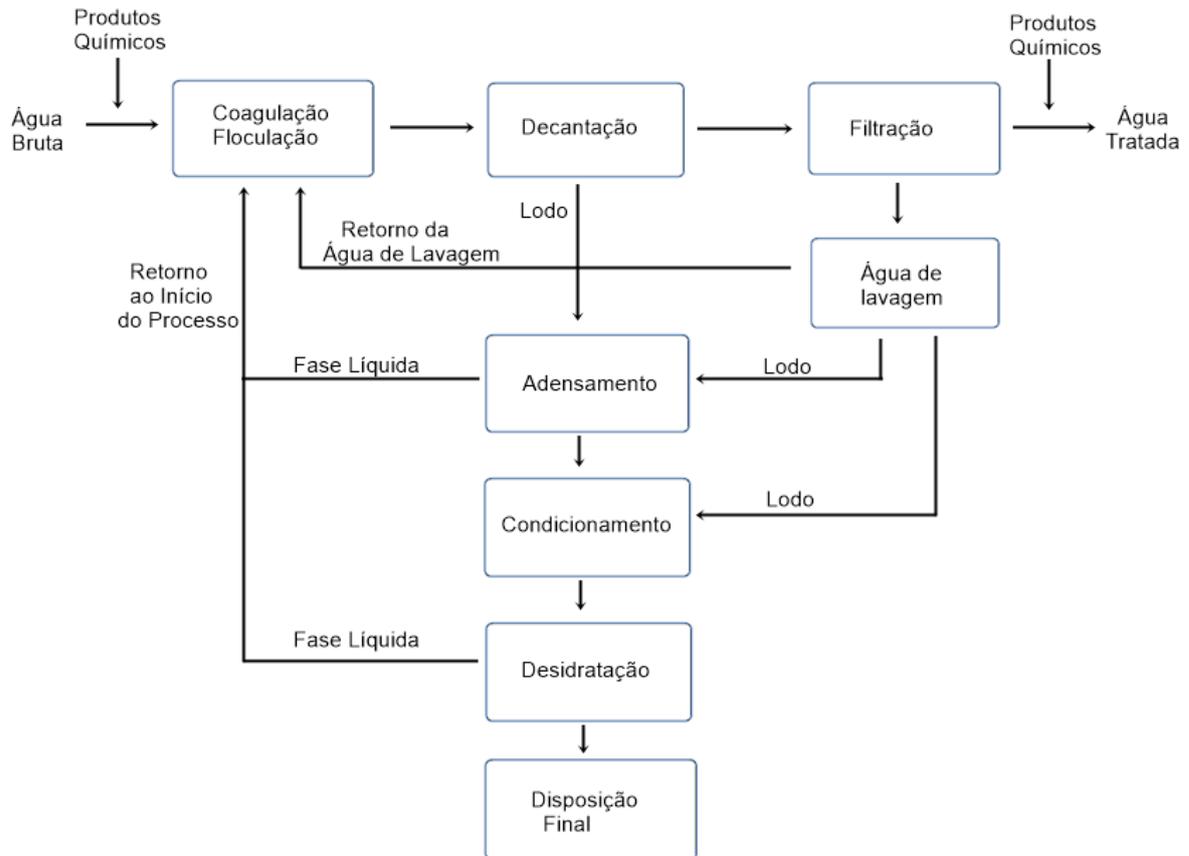


Figura 1 – Processos envolvidos no tratamento dos resíduos líquidos e sólidos gerados em ETAs convencionais. Fonte: RIBEIRO (2007).

3.5.3.4. Disposição final do lodo

Muitos estudos indicam possíveis usos benéficos para o lodo de ETA para evitar impactos ambientais sérios e não condizentes com os princípios de minimização, reuso, reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, entre os quais:

- **Incorporação na fabricação de cimento:** Os lodos de ETAs de ciclo completo normalmente apresentam na sua composição calcário, xisto, argila, minério de ferro e bauxita, por isso, podem ser introduzidos no processo de fabricação de cimento na fase de pré homogeneização das matérias-primas quando esse teor de sólidos for de no mínimo 50%. O que pode inviabilizar a fabricação do cimento a partir do lodo são as possíveis altas concentrações de matérias orgânica, antracito ou carvão ativado, sulfato, permanganato de potássio e metais pesados (CORNWELL, 2006).

- **Utilização na fabricação de tijolos:** Como as características físicas e químicas de lodos de ETAs são, muitas vezes, similares às dos materiais utilizados na fabricação de tijolos, esse tipo de destinação pode diminuir a quantidade necessária de argila (principal matéria-prima) de jazidas naturais (CORNWELL, 2006). Segundo Cornwell *et. al.* (2000), para, este tipo de destinação, o lodo deve apresentar um teor de sólidos superior a 20%, pois a umidade é um fator muito importante para o manuseio e incorporação no processo de obtenção de materiais cerâmicos.
- **Disposição em aterros sanitários:** Para Ribeiro (2007), uma das formas mais simples e diretas de disposição dos lodos de modo a não causar impactos negativos ao meio ambiente é o seu envio para aterros sanitários. Os resíduos sólidos são reduzidos ao menor volume permissível, confinados, armazenados na menor área possível e cobertos com uma camada de solo natural a intervalos regulares de tempo, conforme necessário, de modo planejado e com controle técnico dos aspectos sanitários e ambientais.
Para evitar a contaminação do solo e das águas pelos líquidos percolados, deve ser feita a drenagem adequada destes líquidos.
O aterro deve ter um programa de monitoramento ambiental que deve prosseguir após o encerramento de sua vida útil. A área, após o encerramento de sua vida útil pode ser utilizada para parques, áreas de lazer ou praças de esporte (FRANCO, 2009).

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado na Lagoa do Jamil, onde será feita a captação superficial para o abastecimento da UFV/CAF, localizada em latitude: 19° 53' 22" S e longitude: 44° 25' 57" O, uma vez que a captação subterrânea não será suficiente para suprir a necessidade da população acadêmica em crescimento. É um manancial de regime lântico pertencente a microbacia do Córrego Areia. A Figura 2 mostra a delimitação da microbacia do Córrego Areia, traçada aproximadamente sobre seu divisor de águas na rede de drenagem a partir do Zoneamento Ecológico Econômico.

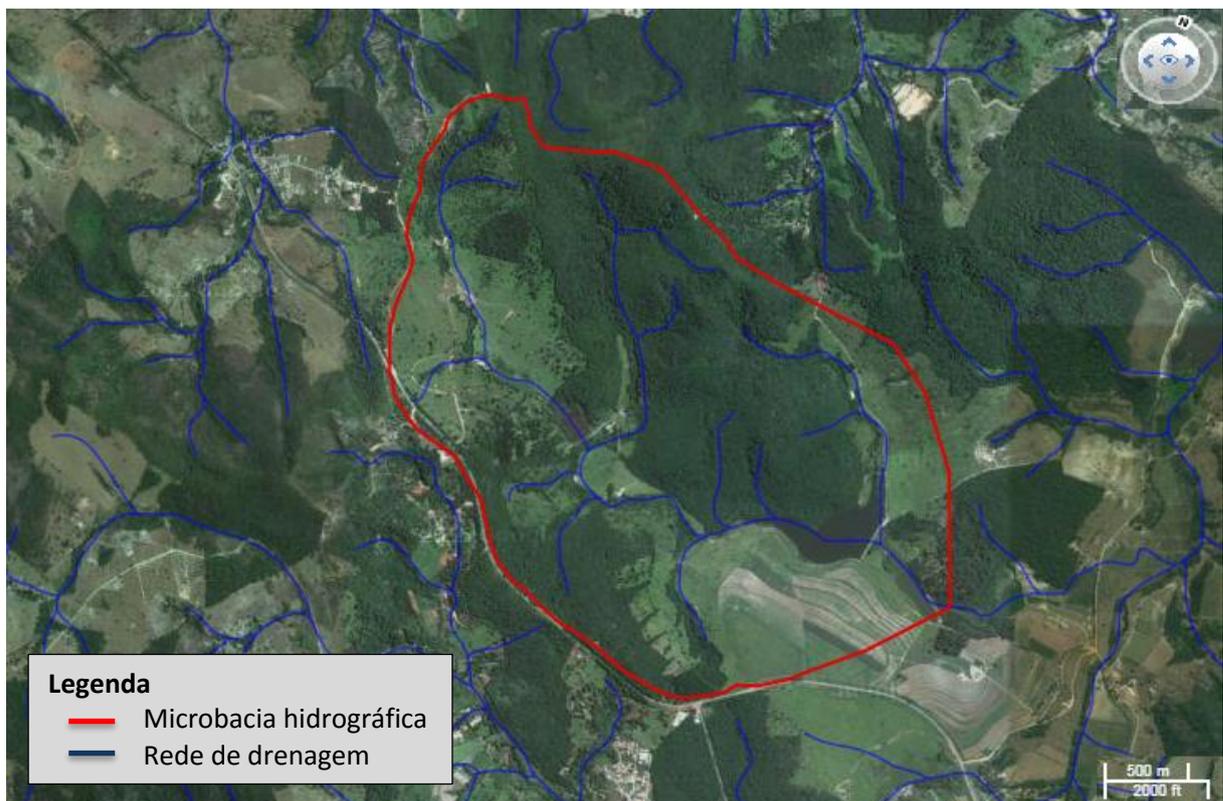


Figura 2 - Rede de drenagem da microbacia hidrográfica do Córrego Areia.

A paisagem do entorno apresenta área de cultivo a alguns metros do lado do ponto de coleta e reserva legal do outro lado. Alguns animais silvestres como capivaras presentes na área utilizam-na para dessedentação.

Na Figura 3 é possível ter uma vista aérea da Lagoa.



Figura 3 - Vista aérea da localização do Manancial Superficial Lagoa do Jamil no Campus da UFV em Florestal MG.

4.2. Caracterização da ETA

A ETA em questão é do tipo convencional, compacta, com capacidade nominal de 8,0 L/s e constituída de um medidor misturador rápido, calha Parshall, três floculadores hidráulicos, um decantador convencional de fluxo horizontal e quatro filtros rápidos por gravidade.

Os produtos químicos utilizados no tratamento serão sulfato de alumínio, cal hidratada, fluossilicato de sódio e cloro cal.

A medição de vazão e mistura rápida será feita em uma calha Parshall de 1", localizada a montante e anexa ao floculador.

O tempo médio de detenção no floculador é:

Tempo total de detenção	30 min
- 1ª série gradientes	td = 6,2minG = 42s-1
- 2ª série gradientes	td = 6,2minG = 23s-1
- 3ª série gradientes	td = 6,2minG = 12s-1

Considerando que o decantador será responsável pela retirada de grande parte dos sólidos em suspensão na água em forma de flocos, no processo de clarificação (coagulação, floculação e decantação), recomenda-se trabalhar com um valor de água decantada de 6 NTU podendo atingir o valor máximo de 10 NTU, desde que por curtos

períodos de tempo. Para valores superiores a 10 NTU de forma continuada deve-se pesquisar o desempenho das unidades anteriores a coagulação e floculação.

O sistema de filtração é composto de 3 filtros do tipo rápido e gravidade. A lavagem dos filtros será realizada diante das seguintes situações:

- Quando o nível d'água estiver a 235 mm do topo dos filtros; ou
- Quando a turbidez da água filtrada for maior que 1 NTU.

As águas de lavagem dos decantadores e dos filtros serão lançadas em canaleta de recolhimento até os leitos drenantes conforme o projeto da UTR. Todavia há possibilidade de retorno direto da água de lavagem dos filtros para a entrada da ETA, visto à baixa concentração de sólidos.

A limpeza dos decantadores ocorrerá a cada 3 meses e lavagem dos filtros com carreira mínima de filtração de 24 horas.

4.3. Delineamento metodológico

Adotou-se a seguinte metodologia, com as etapas a saber:

- Análise da turbidez e pH da água bruta ao longo do período de janeiro a maio de 2016 e o monitoramento da precipitação diária no mesmo período.

- Estimativa da quantidade de lodo que será produzido na ETA através do Teste de Jarros em função da variação da turbidez e pH da água bruta e aplicação dos resultados em fórmulas.

4.3.1. Análises de turbidez e pH

A turbidez e pH foram monitorados com o auxílio de turbidímetro TB-1000 e pHmetro mPE- 108 - ambos da marca MS TecnoPON (Figura 4). A calibração dos equipamentos era realizada quando necessário.

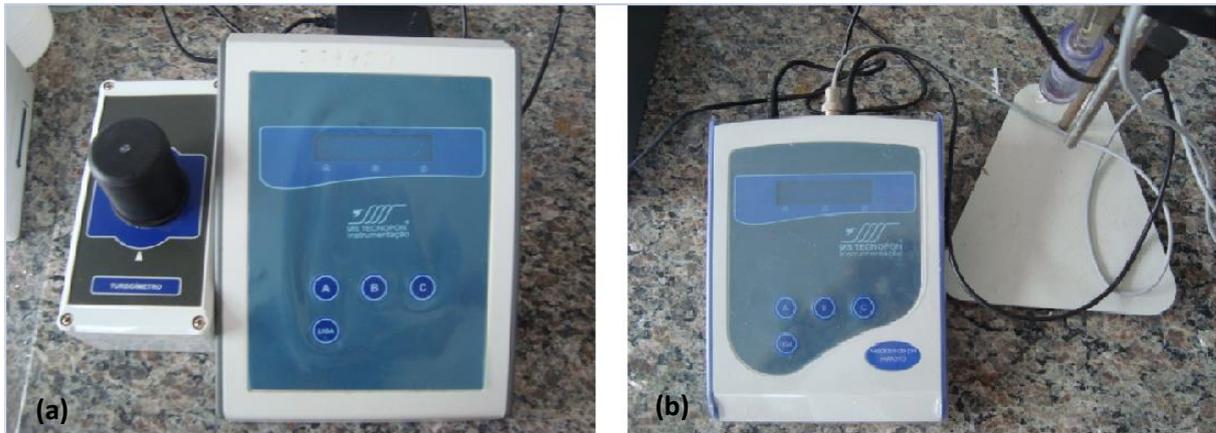


Figura 4 - a) Turbidímetro; e b) pHmetro.

O período de análise foi de janeiro a maio com frequência de coleta de uma vez por semana e eventualmente quando a ocorrência de eventos atípicos como chuvas torrenciais. Essa frequência de coleta foi definida devido à baixa variação da turbidez durante 4 dias (entre 26 a 29 de janeiro) e o período de 5 meses foi definido a fim de observar a influência da sazonalidade na variação dos parâmetros.

As coletas foram realizadas subsuperficialmente utilizando um recipiente limpo, de plástico, com capacidade volumétrica de até 500ml, aberto no momento da coleta e fechado logo a seguir. As amostras foram cuidadosamente coletadas, tomando-se o devido cuidado para não incluir partículas grandes, detritos, folhas ou outro tipo de material acidental. Foi verificado o volume suficiente para eventual necessidade de repetir alguma análise.

Conforme demonstrado na Figura 5, o ponto de coleta das amostras localizou-se próximo ao ponto onde a bomba para adução da água bruta será instalada à margem direita (considerando o fluxo da nascente para o exultório do Córrego Areia) do barramento.

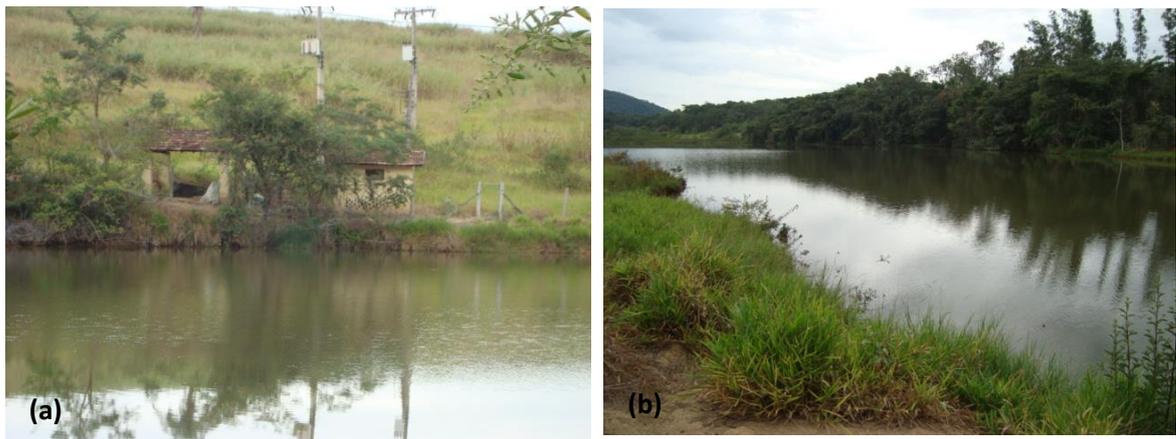


Figura 5 - a) Vista frontal da casa de bombas do futuro ponto de captação; e b) Vista do ponto de captação para montante.

4.3.2. Testes de jarros

Os ensaios de clarificação realizados em escala de laboratório foram desenvolvidos para adequação da dosagem do sulfato de alumínio no equipamento Jar-Test Floc Control III, da marca Policontrol, instalado nas dependências do Laboratório da UFV/CAF.

A fim de se determinar a melhor dosagem do produto sulfato de alumínio, que produzirá melhor qualidade do efluente clarificado, os dois testes foram feitos sob diferentes condições: Um em fevereiro, quando a turbidez estava a 11 NTU e o outro em maio, quando o mesmo parâmetro estava a 5 NTU. Para ambos, foram utilizados 2000 mL de água bruta em cada jarro. Para tal pesou-se 30mg de sulfato de alumínio, acrescentou-se 1L de água obtendo-se uma solução 0,003%. Para obter uma solução a 1% adicionou-se 9970mg (ou 9,970g) e chegou-se a uma solução 10g/L (Tabela 1).

Tabela 1 - Condições dos ensaios de Jarros

Data	Hora	Turbidez Inicial	pH Inicial	Concentração da Solução Coagulante
18/02/16	14:00:00	10,6	6,1	1% (10g/L)
10/05/16	13:00:00	4,99	-	1% (10g/L)

A partir daí foi determinado a dosagem de sulfato de alumínio a ser adicionado em cada tubo de ensaio a partir da fórmula:

Volume de sulfato de alumínio = $(A \times 0,2) / B$

Onde:

A = concentração de sulfato de alumínio desejada na cuba, em mg/l.

B = concentração de sulfato de alumínio em % = 1%

O valor de A foi determinado a partir da tabela a seguir (Tabela 2), que relaciona o valor da turbidez inicial com a dosagem aconselhável para o ensaio:

Tabela 2 - Relação entre o valor da turbidez inicial com a dosagem aconselhável para o ensaio. Fonte: SARSAN (2014).

Turbidez (NTU)	Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)		
	Mínima	Média	Máxima
10	5	10	17
15	8	14	20
20	11	17	22
40	13	19	25
60	14	21	28
80	15	22	30
100	16	24	32
150	18	27	37
200	19	30	42
300	21	36	51
400	22	39	62
500	23	42	70

Em vista dos valores de turbidez da água bruta para cada ensaio realizado, em conjunto com a recomendação exposta na Tabela 2, foram definidas as concentrações e respectivas dosagens de sulfato de alumínio aplicadas a cada um dos jarros, conforme caracterizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores determinados para cada Jarro em cada um dos dois ensaios.

Jarros	Ensaio 1		Ensaio 2	
	Coagulante (mg/L)	Dosagem (mL)	Coagulante (mg/L)	Dosagem (mL)
1	3	0,6	1	0,2
2	5	1	2	0,4
3	8	1,6	3	0,6
4	10	2	4	0,8
5	14	2,8	5	1
6	17	3,4	7	1,4

Determinada a dosagem ótima do coagulante em cada jarro, verificou-se o tempo e gradiente de velocidade ideal para se flocular a água em estudo:

- G1 = 700s⁻¹ por 30 segundos simulando a entrada da água bruta na Calha Parshall da ETA.
- G2 = após uma pausa de 10 segundos e depois novamente uma rotação de 700s⁻¹ por 30 segundos simulando o processo de mistura rápida onde o coagulante é adicionado, de acordo com a NBR 12216.
- G3 = 42s⁻¹ por 6,12 minutos simulando a etapa de flotação de acordo com os dados do projeto da ETA.
- G4 = 23s⁻¹ por 6,12 minutos simulando a etapa de flotação de acordo com os dados do projeto da ETA.
- G5 = 12s⁻¹ por 6,12 minutos simulando a etapa de flotação de acordo com os dados do projeto da ETA.
- G6 = 0s⁻¹ por 30 minutos simulando a decantação de acordo com o tempo de detenção estimado para os decantadores da ETA.

Finalizado o ensaio, foi analisada novamente a turbidez da água em cada jarro para caracterizar a eficiência da ação dos diferentes volumes de coagulante.

4.3.3. Estimativa de lodo

Dentre as equações que estimam a produção de sólidos em ETAs, foram usadas aquelas que levam em consideração turbidez e dosagem de coagulante. São elas:

– American Water Work Association – AWWA (1978) *apud* Ribeiro (2007)

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \cdot T^{0,66}$$

– KAWAMURA (1991) *apud* Ribeiro (2007)

$$P = 1,5 \cdot T + K \cdot D$$

– CORNWELL (1987) *apud* Ribeiro (2007)

$$P = k \cdot D + 1,5 \cdot T + A$$

Onde,

P = Estimativa produção de sólidos (g de matéria seca/m³ de água bruta tratada);

T = turbidez da água bruta (uT)

D = dosagem do coagulante (mg.L⁻¹)

A = outros aditivos, como carvão ativado em pó e polímero.

C = cor da água bruta (uH)

K = relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido de sódio

Os valores para a relação estequiométrica K variam de acordo com o tipo de coagulante, de acordo com Ribeiro (2007) os valores de k são:

K = 0,23 a 0,26, para o sulfato de alumínio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 6 são caracterizadas a incidência mensal de chuvas (mm) no período de realização do trabalho, fornecida pela estação pluviométrica localizada no *Campus*, e a normal climatológica do município de Florestal, fornecida pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

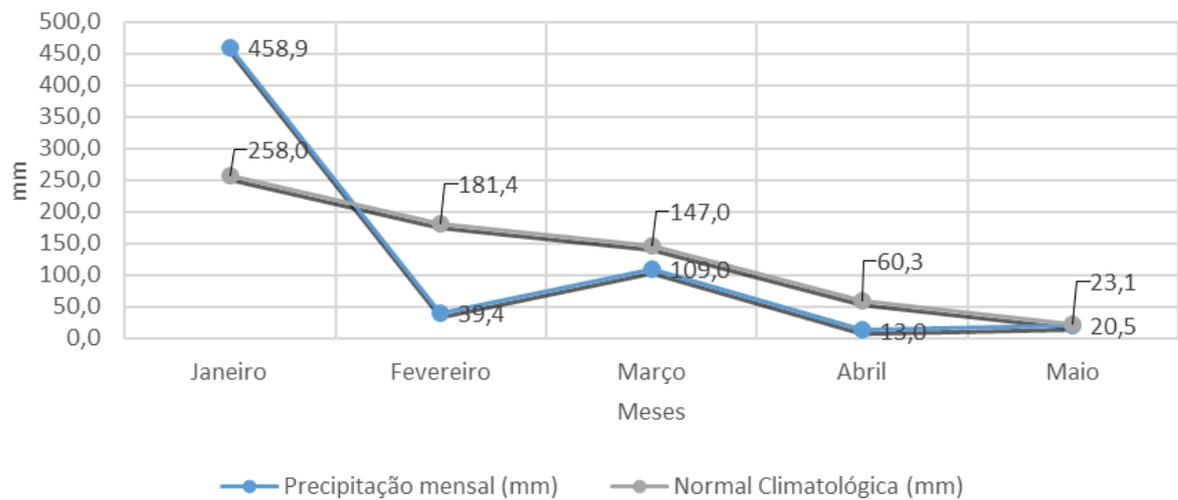


Figura 6 - Precipitação mensal x Normal climatológica

Observa-se na Figura 6 que a precipitação mensal em janeiro foi consideravelmente superior à normal climatológica, ao passo que nos demais meses a precipitação foi inferior ao esperado.

5.1. Caracterização da turbidez

A Figura 7 apresenta a série histórica dos valores da turbidez e dos índices pluviométricos.

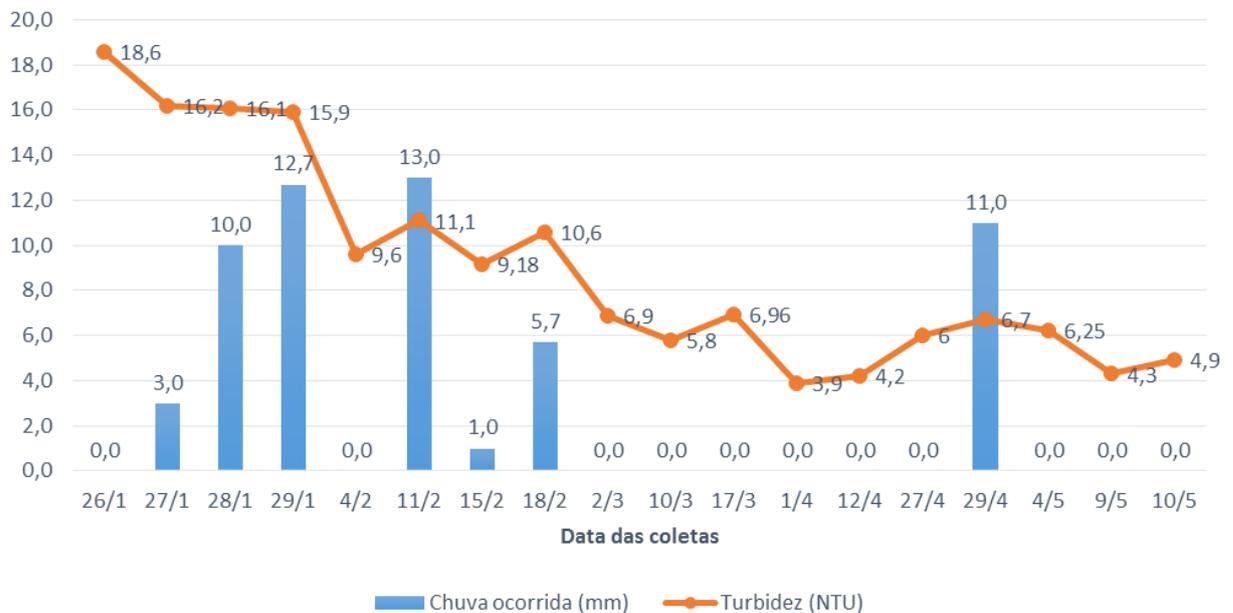


Figura 7 - Relação entre o índice pluviométrico e a turbidez do manancial de abastecimento

Durante o período de chuva a turbidez esteve entre um valor mínimo de 9,6 NTU e máximo de 18,6 NTU, sendo a média de 13,41 NTU. Já no período de estiagem os valores variaram entre 3,9 NTU e 6,96 NTU, com média de 5,57 NTU. Os dados apresentados na Figura 7 demonstraram um decaimento nos valores da turbidez ao longo do período de monitoramento. No período chuvoso a turbidez foi mais elevada do que no período de estiagem.

O valor da turbidez em um manancial está diretamente relacionado com as características da bacia hidrográfica. Segundo CETESB (2009), alguns fatores podem ocasionar o aumento da turbidez, como, por exemplo, a movimentação de sedimentos em locais rasos, a erosão das margens por falta de mata ciliar e as folhagens e galhos de árvores que são arrastados para dentro do corpo d'água por ação dos ventos e da correnteza.

Para a Lagoa do Jamil, observa-se na Figura 7 que a turbidez não guarda uma relação direta com a precipitação diária, todavia nota-se relação entre os índices de precipitação mensal e o comportamento da turbidez no ambiente aquático. Precipitações diárias mais elevadas no período chuvoso, a exemplo do dia 11/02 (13 mm) não implicaram em alteração significativa nos valores de turbidez. O mesmo observou-se no período de estiagem, quando a turbidez se manteve sem grandes alterações, em torno de 6 NTU, mesmo ocorrendo uma precipitação de 11,0 mm no dia 29 de abril.

Essas pequenas variações na turbidez, ainda que se verifiquem índices pluviométricos mais elevados, podem estar relacionadas ao bom estado de preservação em que se encontra a área em torno da Lagoa do Jamil. Todavia, é nítido que os maiores valores de turbidez se associam ao período chuvoso, devido ao potencial carreamento de sólidos pelo escoamento superficial. Por meio da Figura 8 pode-se observar que a tendência de decaimento da turbidez no corpo hídrico acompanha o declínio do índice pluviométrico mensal.

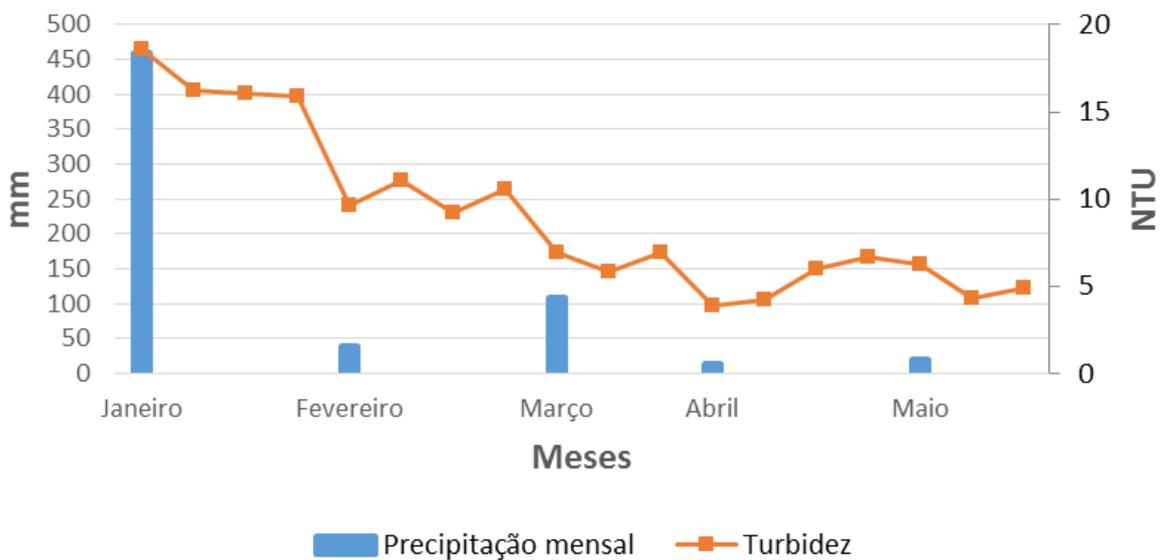


Figura 8 - Precipitação mensal x Turbidez

5.2. Ensaio de jarros

Realizou-se a leitura da turbidez das amostras dos ensaios 1 (período chuvoso) e 2 (período de estiagem) antes e após o teste de jarros. Foi utilizado como coagulante o sulfato de alumínio na concentração de 1%.

Os dados e resultados dos ensaios de jarros para determinação das dosagens ótimas do coagulante para os valores de turbidez no período chuvoso (11 NTU) e de estiagem (5 NTU) da Lagoa do Jamil estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Considerou-se a melhor remoção aquela que apresentou a menor turbidez relacionada com a quantidade de coagulante.

Tabela 4 - Período chuvoso com turbidez inicial de 11 NTU

Ensaio 1						
Jarros	1	2	3	4	5	6
Coagulante (mg/L)	3	5	8	10	14	17
Dosagem (mL)	0,6	1	1,6	2	2,8	3,4
pH final	8,63	7,92	7,52	7,32	7,34	7,1
Turbidez final (NTU)	10,1	10,8	10,7	3,87	1,2	0,64
Eficiência (%)	8,2	1,8	2,7	64,8	89,1	94,2

Os resultados da Tabela 4, ensaio 1, indicam que o jarro 4 obteve uma eficiência na remoção da turbidez de 64,8% com uma dosagem de 10 mg/L, chegando a uma turbidez final de 3,87 NTU. Cabe ressaltar que após a etapa de filtração, a remoção será maior e poderá chegar a um valor inferior a 0,5 NTU, que é exigido pelo padrão de potabilidade da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

Os jarros 5 e 6 obtiveram uma eficiência na remoção da turbidez de 89,1 e 94,2% com uma dosagem de 14 e 17 mg/L, chegando a uma turbidez final de 1,2 e 0,64 NTU respectivamente. De acordo com os resultados obtidos no ensaio 1, verificou-se que os jarros 4, 5 e 6 apresentaram bons resultados em diferentes formas. Porém, como a turbidez da água dos jarros 4 e 5 que irão chegar aos filtros está um pouco mais alta do que a do jarro 6, isto exigirá uma frequência maior de lavagem dos filtros para evitar sua colmatação. Se este processo for muito constante em um curto espaço de tempo, podem ser inviáveis estas dosagens (10 e 14 mg/L). Desta forma, a dosagem (17 mg/L) do jarro 6 poderá ser utilizada para o tratamento da água bruta no período chuvoso na ETA.

De acordo com os resultados demonstrados na Tabela 5, referentes ao ensaio 2, verificou-se que os jarros 5 e 6 foram os que apresentaram os melhores resultados na remoção da turbidez, com eficiência de 58 e 84%, e dosagens de 5 e 7 mg/L, respectivamente. Nestes jarros 5 e 6 obteve-se uma turbidez final de 2,1 e 0,8 NTU, respectivamente. Relacionando-se a remoção da turbidez com a dosagem do coagulante, verificou-se que o jarro 6 obteve um melhor desempenho. Apesar da concentração ter sido maior, a remoção foi mais eficiente.

Tabela 5 - Período de estiagem com turbidez inicial de 5 NTU

Ensaio 2						
Jarros	1	2	3	4	5	6
Coagulante (mg/L)	1	2	3	4	5	7
Dosagem (mL)	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,4
Turbidez final (NTU)	5,5	5,4	6,1	4,7	2,1	0,8
Eficiência (%)	0	0	0	6	58	84

5.3. Estimativa da geração de lodo

5.3.1. Volume de lodo produzido

Para determinar este passivo ambiental, neste trabalho optou-se pelas equações demonstradas no item 4.3.3.. Os resultados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativa da produção de sólidos

Períodos	Autores	Estimativa da produção de sólidos (P) (g/m ³)		
		Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Chuvoso	AWWA	16,63	16,63	16,63
	KAWAMURA	18,50	19,54	20,32
	CORNWELL	18,50	19,54	20,32
Estiagem	AWWA	10,11	10,11	-
	KAWAMURA	8,79	9,31	-
	CORNWELL	8,79	9,31	-

As equações de Kawamura e Cornwell, apresentaram resultados idênticos, já que em suas formulações há apenas uma variável distinta (A = outros aditivos, como carvão ativado em pó e polímero), que não se aplica para a situação deste trabalho, então, não houve diferença entre elas.

Considerando uma vazão de água tratada (Q) de 8,0 L/s, ou seja, 691,20 m³/dia, a massa de sólidos (Ms) gerada por dia será calculada pela fórmula da Tabela 7.

Tabela 7 – Massa de Sólidos

Períodos	Massa de sólidos $M_s = P \times Q$ (kg/dia)		
	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Chuvoso	12,8	13,5	14,0
Estiagem	6,1	6,4	-

A massa de lodo (ML) gerada por dia, com concentração (Co) típica assumida de 3%, será calculada pela fórmula da Tabela 8.

Tabela 8 - Massa de Lodo

Períodos	Massa de lodo $ML = M_s/Co$ (kg/dia)		
	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Chuvoso	426,2	450,2	468,2
Estiagem	202,4	214,3	-

A densidade do lodo (dL) com concentração de 3% de sólidos foi assumida como 1.003 kg/m³ (RICHTER, 2001). Assim, o volume de lodo (VL) produzido por dia será calculado pela fórmula da Tabela 9.

Tabela 9 - Volume de Lodo

Períodos	Volume de lodo $VL = ML/dL$ (m ³ /dia)		
	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Chuvoso	0,42	0,45	0,47
Estiagem	0,20	0,21	-

5.3.2. Volume de lodo desidratado

Segundo Di Bernardo *et al.* (2011), geralmente para lodos *in natura* com teor de sólidos totais entre 1,5 e 3%, obtêm-se um lodo desaguado com teor de ST de 10 a 20%. Portanto, foi considerado uma concentração (Co) de 20% para o cálculo da massa de lodo após o leito de secagem (MLs), conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Massa de lodo após leito de secagem

Períodos	Massa de lodo após leito de secagem MLs = Ms/Co (kg/dia)		
	Chuvoso	Jarro 4	Jarro 5
	63,9	67,5	70,2
Estiagem	Jarro 5	Jarro 6	-
	30,4	32,1	-

A densidade (dLs) do lodo desidratado com concentração de 20% de sólidos pode ser admitida como sendo de 1.500 kg/m^3 (RICHTER, 2001). Assim, o volume de lodo retirado do leito de secagem (VLs) por dia será dado conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Volume de lodo retirado do leito de secagem

Períodos	Volume de lodo retirado do leito de secagem VLs = MLs/dLs (m^3/dia)		
	Chuvoso	Jarro 4	Jarro 5
	0,043	0,045	0,047
Estiagem	Jarro 5	Jarro 6	-
	0,020	0,021	-

O lodo desidratado removido dos leitos de secagem poderá ser disposto em valas a serem abertas nas imediações da ETA, sempre no período de descarte. Conforme recomendações do manual da UTR (SARSAN, 2014), as valas terão profundidade de 1,5 m, largura de 2,0 m e comprimento de 65,0 m, para cada leito drenante. Assim, para quatro leitos previstos, tem-se um volume total útil de aterro de 780 m^3 . Considerando o revezamento dos leitos em operação, tem-se o volume disponível conjunto de duas valas para a disposição final do lodo seco em leito de secagem (390 m^3).

Logo, a duração (em anos) prevista para as valas de aterramento (Dv), em vista do volume disponível (Vd), está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12 - Duração das valas de aterramento do lodo de ETA

Períodos	Duração das valas de aterramento $Dv = (Vd/VLs)/365$ (anos)		
	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Chuvoso	25	24	23
Estiagem	53	50	-

O jarro 4 do primeiro ensaio, executado no período chuvoso, onde utilizou-se uma dosagem menor (10 mg/L) de coagulante, resultou em um volume de lodo retirado do leito de secagem (VLs) de 0,043 m³/dia e a duração das valas de aterramento (Dv) para esta quantidade de lodo desidratado seria de 25 anos. No jarro 5, a uma dosagem de 14 mg/L de coagulante, o VLs será de 0,045 m³/dia. Com este volume, as valas de aterramento teriam uma duração de 24 anos. Já para o jarro 6, do mesmo ensaio, foi utilizado uma dosagem maior (17 mg/L) de coagulante, o que ocasionará um VLs também maior, 0,047 m³/dia, conseqüentemente, a Dv será inversamente proporcional, ou seja, 23 anos.

No segundo ensaio, realizado no período de estiagem, no jarro 5, foi utilizado uma dosagem de coagulante de 5 mg/L. Para este, o VLs será de 0,020 m³/dia, com respectiva Dv igual a 53 anos. Neste mesmo ensaio, para o jarro 6, também se estimou a geração de lodo e o possível período de aterramento nas valas, cujos valores são de 0,021 m³/dia e 50 anos, respectivamente.

Pode-se observar por meio dos resultados obtidos que quanto mais alta for a turbidez, maior será a quantidade de coagulante a ser utilizada no processo de tratamento para a transformação da água bruta em água potável, conseqüentemente, haverá o aumento do volume de lodo produzido e a diminuição da vida útil das valas de aterramento.

Esse tipo de disposição, em valas de aterramento, embora seja considerado uma alternativa viável ambientalmente, não pode ser considerado a melhor prática para o lodo da ETA da UFV/CAF. Segundo Katayama (2012), existem outras formas de reaproveitamento dos resíduos gerados, como por exemplo:

- Incorporação na fabricação de cimento;
- Utilização na fabricação de tijolos, entre outros.

Apesar de existirem essas alternativas para disposição do lodo, há diversos obstáculos para incorporação dessas técnicas por partes dos setores de saneamento,

como o custo da logística, a quantificação correta do lodo, a aceitação por parte dos órgãos ambientais e a presença de materiais tóxicos no lodo (ANDRADE, 2005).

6. CONCLUSÃO

Por meio das equações sugeridas por AWWA, Kawamura e Cornwell, pôde-se estimar o volume de lodo a ser tratado na UTR, levando em consideração os resultados obtidos nos períodos do ensaio em cada jarro escolhido, por apresentarem boas eficiências na remoção da turbidez. Para todas as equações observou-se que a maior quantidade de lodo formada será nos meses chuvosos, devido a maior turbidez das águas e, conseqüentemente, maior consumo de coagulante.

Conclui-se que a melhor alternativa para a potencial redução dos gastos com compras de produtos químicos, mão de obra e área para a disposição dos resíduos é a preservação e conservação da bacia hidrográfica, e a tomada de providências necessárias no processo de tratamento desde a captação até a distribuição, o que irá proteger os mananciais e proporcionar melhor qualidade e quantidade satisfatória de água bruta a ser tratada e evitar a deterioração da qualidade da água na captação, adução, tratamento, recalque, reservação e nas próprias instalações hidráulico-sanitárias prediais, medidas estas preconizadas pelo conceito de múltiplas barreiras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de Tratamento de Água e a ISO 24512: Desafio do Saneamento Brasileiro, São Paulo v.18, n.2, p. 115-122, 2013

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Índice de qualidades das águas. Portal da qualidade das águas. Brasil, 2009.

ANDRADE, Patrícia de Souza. Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso. Campinas, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

ASSUNÇÃO, W. L. Metodologia para a definição da duração das estações seca e chuvosa na região dos cerrados do Brasil Central – primeira aproximação. In: Encontro de Geógrafo de América Latina Reencuentro de saberes territoriales latinoamericanos, 14., 2013, Lima. Anais. Lima: 2013.

AZEVEDO NETTO, A.; JOSÉ, M. (1987). Técnicas de Abastecimento e Tratamento de água. São Paulo, CETESB.

BABBIT, H.E., DOLAND, J.J, CLEASBY, J.L. Abastecimento de Água, [Tradução de Zadir Castello Branco], Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo. 1976.

BARBOSA, R.M. (2000). Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de estações de tratamento de água à biota aquática através de testes de toxicidade. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BARRETO, V.B.G. Estudo de Caso: Utilização de polímero catiônico como auxiliar de coagulação no tratamento de água da Estação de Tratamento da Nova Marabá-Marabá-PA. Serviço Público Federal Universidade Federal do Pará Campus Universitário de Marabá Faculdade de Engenharia de Materiais. 2010, Marabá, PA

BARROSO, M. M.; COREDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita (SP). *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CARVALHO, N. de O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372p.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Variáveis de qualidade de água. São Paulo, 2009

CONTE, M de L., LEOPOLDO, P.R. Avaliação dos Recursos Hídricos: Rio Pardo, um exemplo. São Paulo, Editora: UNESP, 2001, 141p.

CORDEIRO, J. S. (1993). O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água. Tese Doutorado - SHS – EESC, USP - 342p. São Carlos.

CORDEIRO, J. S. (2001) Gerenciamento Integrado de Resíduos de Estações de Tratamento de Águas. Anais... 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, cd, I – 062.

CORNWELL, D. A.; KOPPERS, H. M. M. (1990). Slib, Schlamm, Sludge. EUA: AWWA Research Foundation/KiWA Ltd.

CORNWELL, D. A. (1987) Handbook of practice water treatment plant waste management. American Water Works Association Research Foudation, Denver, 431p. 1 ed., Virginia.

COSTA, G. J. A experiência da DVRM na operação da unidade de tratamento de resíduos (UTR) da ETA Rio Manso. In: Encontro Técnico Copasa - Compartilhado o conhecimento: Trabalhos Técnicos. Belo Horizonte, 2010. Não publicado.

DEMATOS, M.; COSTA, G. J.; FONSECA, D. A; BRAGA, J. P. C.; JANZEN, W. (2001). Redução do volume de lodo gerado em estações de tratamento de água - a proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no sistema Rio Manso. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.

DENTEL, S.K. (1997) Evaluation and role rheological in sludge management. Water Science and Technology, v. 36, n. 11, p. 1-8.

DI BERNARDO, L. (1993). Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. Volumes I e II. Associação Brasileira de engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 481 p. Rio de Janeiro

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2. ed. São Carlos: Rima Editora, 2005. v. 2. 1584 p.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D., VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. Editora LDiBe, São Carlos – SP, 2011.

DONÁDIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; DE PAULA, R. C. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.115-125, jan./abr. 2005.

ECKENFELDER, W. (1989). Industrial water pollution control. 2. ed. New York:

McGraw-Hill. 203 p.

FONTANA, A.O. Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador Como Solução Para Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de Lavagem de Filtros - Estudo de Caso – ETA Cardoso. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos/UFSCAR. São Carlos, 2004.

FRANCO, E. S. Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água. 2009. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006.

JANUÁRIO, G. F. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

JANUÁRIO, G. F. FERREIRA FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n 2, p. 117126, 2007.

KATAYAMA, V.T. (2012). Quantificação da produção de lodo de estações de tratamento de água de ciclo completo: uma análise crítica. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. Fontes e tratamento de água. In: _____. Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Cap. 13 p.441-507.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Indicadores hidrológicos em áreas Florestais. Série Técnica IPEF, Piracicaba v. 12, n. 31, 1998. p. 53-64

MACEDO, J. A. B. Águas & Águas. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007.

MOLINA, T. Caracterização e tratamento de água de lavagem de filtros de ETA com o uso de polímeros sintéticos e amido de batata. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 2, nº. 3, p. 28 – 44, 2010.

Ministério Público do Estado de Minas Gerais. (2009) Parecer Técnico - Ref.: Ofício 1139/2008 (CAO-MA) - Informações técnicas referentes aos danos ambientais decorrentes do lançamento de lodo in natura, pelas Estações de Tratamento de Água,

no ambiente. Belo Horizonte: Procuradoria-Geral de Justiça, 32 p.

NAIME, R.; FAGUNDES, R.S. Controle da qualidade da água de Arroio Portão-RS. *Pesquisas em Geociências*, v.32, n.1, p. 27-35, 2005.

OLINGER, C.; CARDOSO, M.; LAPOLLI, F. R. Caracterização e clarificação da água de lavagem do filtro de uma ETA que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21º, 2001, João Pessoa: Anais. 2001.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y.D.P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. *Química Nova*, v. 33, n. 5, 2010.

PÁDUA, V. L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, Cap 12, p. 519 - 570.

PAIVA, M. W. TAME PEREIRA, R. L. Resíduos das estações de tratamento de água (ETA). Batatais 2012

PAVANELLI, G. (2001). Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEREIRA, S. L. M. Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E.; PIRES, A.M.Z.C.R. Gestão biorregional: uma abordagem conceitual para o manejo de paisagens. In: SANTOS, J.E. Faces da Polisemia da Paisagem: ecologia, planejamento e percepção. São Carlos: RiMa, 2004. p.23-34.

PORTO, M.F.A.; BRANCO, S.M.; LUCA, S.J. Caracterização da qualidade da água. RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, Potafós, 1991. 343p.

PRIMAVESI, O.; FREITAS, A. R. de; PRIMAVESI, A.C.; OLIVEIRA, H. T. de. Water quality of Canchim's creek watershed in São Paulo, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v.45, n.2, p.209-17, 2002.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. Águas Doces no Brasil. 3ª ed.: São Paulo: Editora Escrituras, 2008

REIS, E. L. T.; COTRIM, M.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O.; CUTOLO, S. A.; ROCHA, S. M. Identificação da Influência do Descarte de Lodo de Estações de Tratamento de Água. *Química Nova*, v. 30, p. 865/116787064-872, 2007.

RIBEIRO, F. L. M. (2007). Quantificação e caracterização química da ETA Itabirito - MG. Dissertação (mestrado). Pró- água, Universidade de Ouro Preto.

RICHTER, C. A. & AZEVEDO NETTO, J. M. A., Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada. São Paulo, SP, Editora Blucher, 2007.

RICHTER, C. A. AZEVEDO AZEVEDO NETTO, J. M. Características da água. In: _____. Tratamento de água: tecnologia atualizada. 1 ed. São Paulo: Blucher, 1991.

RICHTER, C.A, AZEVEDO NETTO, J. M. Tratamento de água: Tecnologia atualizada. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda, 1999.

RICHTER, C. A. Parâmetros de qualidade e definição de processos de tratamento. In: _____. Água: métodos e tecnologia de tratamento. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2009. Cap. 7 p.65-89.

RICHTER, C. A.; (2001). Tratamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher LTD.

RODRIGUES, F.M.; Caracterização Hídrica em Função das Condições de Uso e Manejo do Solo na Microbacia Hidrográfica do Córrego da Fazenda da Glória, Taquaritinga, 2008. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, São Paulo. 2008.

SANTOS FILHO, J. D.; RITA, E. S. S., Gerenciamento do Resíduo Gerado na Clarificação de Água da RLAM, Monografia de Pós-Graduação, Escola Politécnica, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2002.

SANTOS, G.R. Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água. Rio de Janeiro 2011.

Serviços de Engenharia Consultiva Ltda - SEREC (1987) - . Estudo de concepção para a recuperação das águas de lavagens, tratamento e disposição de resíduos das ETAs da RMSP, V.1-3.

Serviços de Águas, Resíduos em Saneamento - SANSAN. Engenharia e Saneamento Ltda. UNIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – UTR PROJETO BÁSICO – EXECUTIVO, 2014.

SCALIZE, P. S. (1997). Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água que utilizam sulfato de alumínio como coagulante primário. São Carlos. 1997, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SCALIZE, P. S. Disposição de resíduos gerados em uma estação de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SLATTER, P.T. (1997) The Rheological Characterization of Sludges. *Water Science and Technology*, v. 36, n. 11, p. 9-18.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento E Disposição Final De Lodos De Estações De Tratamento De Água Do Estado De São Paulo. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa: ABES, 2001.

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: Rima, 2003. 247p.

VILELA, S. M; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 250p.

WETZEL, R. G. Limnology. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.